

(19)

JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 08097208 A

(43) Date of publication of application: 12.04.96

(51) Int. Cl

H01L 21/316
C23C 16/50
H01L 21/205
H01L 21/31
H01L 21/3205
H01L 21/768
H05H 1/46

(21) Application number: 07205592

(22) Date of filing: 11.08.95

(62) Division of application: 03134532

(71) Applicant: NEC CORP

(72) Inventor: IKEDA YASURO

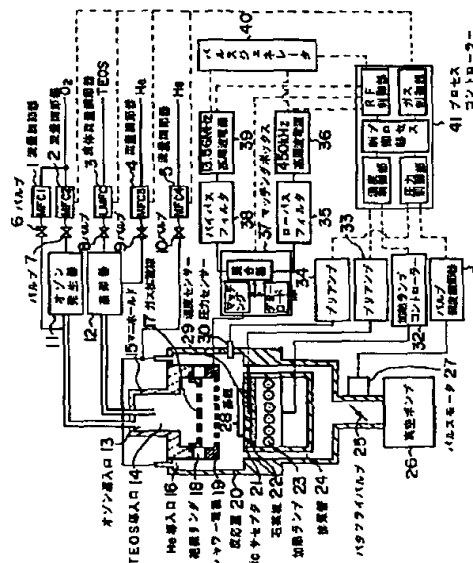
(54) PLASMA CHEMICAL VAPOR DEPOSITION
METHOD AND ITS EQUIPMENT AND
MANUFACTURE OF MULTILAYERED
INTERCONNECTION

(57) Abstract:

PURPOSE: To provide a plasma CVD film wherein step coverage is excellent, submicron space between aluminum wirings can be embedded, water content in a film is little, and crack resistance, stress migration resistance, through holes, and insulation are excellent, and realize the improvement of yield, the cost reduction by reducing the number of processes, and the high reliability of a multilayered interconnection.

CONSTITUTION: TEOS and ozone are used as reaction gas. Pulses of a 40-80% duty factor are produced at 1 second intervals by a pulse generator 40. High frequency power applied to a shower electrode 19 from high frequency power supplies 36 and 39 is switched at 1 cycle per second for a duty factor of 40-60%. Thereby the following are repeated, the formation of a thermal CVD film of TEOS and ozone of about 1nm in thickness, the modification of the thermal CVD film to a plasma film, and the formation of a plasma TEOS CVD film of about 10nm in thickness. Thereby an interlayer insulating film is formed which has the same film quality as the plasma TEOS CVD film and is excellent in step coverage and fine wiring embedding property.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 8 - 9 7 2 0 8

(43) 公開日 平成 8 年 (1 9 9 6) 4 月 1 2 日

(51) Int. Cl. ⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H01L 21/316

X

C23C 16/50

H01L 21/205

21/31

C

21/3205

審査請求 有 請求項の数 9 O L (全 1 4 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平 7 - 2 0 5 5 9 2
(62) 分割の表示 特願平 3 - 1 3 4 5 3 2 の分割
(22) 出願日 平成 3 年 (1 9 9 1) 6 月 6 日

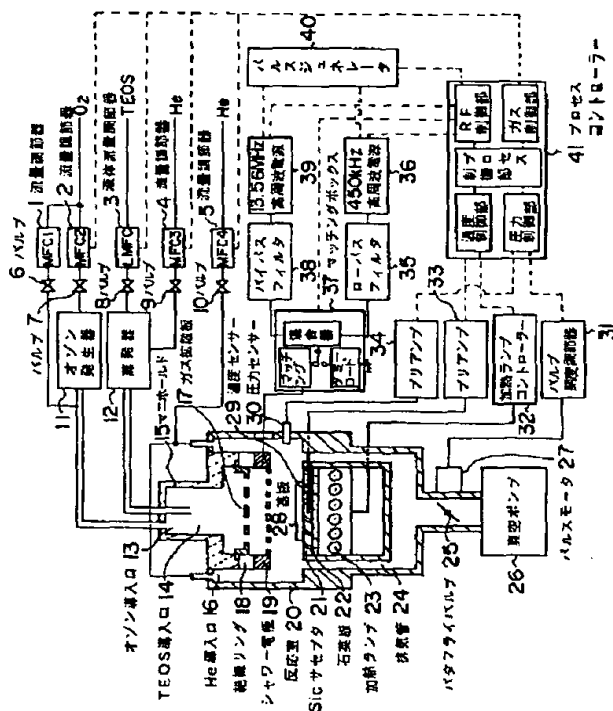
(71) 出願人 0 0 0 0 0 4 2 3 7
日本電気株式会社
東京都港区芝五丁目 7 番 1 号
(72) 発明者 池田 康郎
東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社社内
(74) 代理人 弁理士 京本 直樹 (外 2 名)

(54) 【発明の名称】 プラズマ化学気相成長法とその装置及び多層配線の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 段差被覆性が良く、サブミクロンのアルミ配線間スペースの埋設が可能で、かつ、膜中水分量が少なく、耐クラック性、耐ストレスマイグレーション性、スルーホール性、絶縁性に優れた多層配線層間膜用プラズマ CVD 膜を提供し、工程数の低減による歩留まり向上及びコスト低減と、多層配線の高信頼性化を達成する。

【解決手段】 反応ガスとして、TEOS とオゾンを用い、パルスジェネレータ 40 から、周期 1 秒、デューティ 40 から 60 % のパルスを送り、高周波電源 36 および 39 からシャワー電極 19 に印加する高周波電力を、周期 1 秒、デューティ 40 から 60 % でオン・オフする事により、約 1 nm の TEOS とオゾンの熱 CVD 膜の形成、熱 CVD 膜のプラズマ膜への改質、約 10 nm のプラズマ TEOS・CVD 膜の形成が繰り返される。これにより、プラズマ TEOS・CVD 膜と同等の膜質を持ち、段差被覆性、微細配線埋め込み性の優れた、層間絶縁膜が形成される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 2 種以上の周波数の高周波電圧を印加し、その内の一部或いは全部の高周波電力を周期的に変化させながら、所望の薄膜を形成することを特徴とするプラズマ化学気相成長法。

【請求項 2】 プラズマ化学気相成長装置において、有機シランを供給する機構と、酸素を供給する機構と、プラズマ発生強度を周期的に変化させる機構を有する事を特徴とするプラズマ化学気相成長装置。

【請求項 3】 プラズマ化学気相成長装置において、有機シランを供給する機構と、オゾン含有酸素を供給する機構と、プラズマ発生強度を周期的に変化させる機構を有する事を特徴とする請求項 1 記載のプラズマ化学気相成長装置。

【請求項 4】 プラズマ気相成長装置において、ウェハー表面に有機シランおよびオゾン含有酸素を供給する機構と、酸素プラズマイオン源と、プラズマ照射強度を周期的に変化させるための機械的シャッター、或いは、電磁的なシャッターとを有する事を特徴とするプラズマ化学気相成長装置。

【請求項 5】 プラズマ気相成長装置において、ウェハー表面に有機シランおよびオゾン含有酸素を供給する機構と、酸素プラズマイオン源と、プラズマ照射強度を周期的に変化させるための機械的シャッター、或いは、電磁的なシャッターとを有する事を特徴とするプラズマ化学気相成長装置。

【請求項 6】 有機シランを供給する機構と、酸素を供給する機構と、1 つの反応容器内に設けられたプラズマ強度の異なる複数のプラズマ照射機構と、前記複数のプラズマ照射機構の間で基板を移動させる機構とを有する事を特徴とするプラズマ化学気相成長装置。

【請求項 7】 有機シランを供給する機構と、オゾン含有酸素を供給する機構と、1 つの反応室内に設けられたプラズマ強度の異なる複数のプラズマ照射機構と、前記複数のプラズマ照射機構の間で基板を移動させる機構とを有する事を特徴とするプラズマ化学気相成長装置。

【請求項 8】 2 種以上の周波数の高周波電圧を印加する機構を有するプラズマ化学気相成長装置において、その内の一部或いは全部の高周波電力を周期的に変化させる機構を有する事を特徴とするプラズマ化学気相成長装置。

【請求項 9】 有機シランと酸素を原料ガスとし、基板表面へのプラズマ照射強度を周期的に変化させる、本特許請求の範囲第 1 項から第 5 項記載の化学気相成長法により、金属配線上に絶縁膜を金属配線の高さ以上の膜厚だけ形成する工程と、レジスト膜、有機シリカ膜等の平坦化膜を形成する工程と、反応性イオンエッチング法によりエッチバックする工程を含む事を特徴とする多層配線の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】本発明は、超高集積半導体装置の製造方法に関し、特に、絶縁膜の化学気相成長法に関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】従来のプラズマ化学気相成長法は、反応ガスに T E O S 及び酸素を用い、反応容器内の対向電極間に、一定出力の高周波電力を印加し、一定強度のプラズマを発生させながら、被処理基板上に所望の薄膜を形成していた。

【 0 0 0 3 】図 9 に、従来のプラズマ気相成長装置の概略図を示す。シリコン原料となる T E O S (テトラエチルオルソシリケート) ガスは、バブラー 1 3 2 に入れた液体状の T E O S 1 3 1 を、流量調節器 1 2 3 にて流量調節されたヘリウム (H e) ガスにてバブリングし、T E O S を蒸発させて生成する。オゾン含有酸素は、流量調節器 1 2 0 で流量調節された酸素ガスをオゾン発生器 1 6 5 を通過させ、濃度 1 0 % 程度のオゾンを含ませ生成する。T E O S ガス及びオゾン含有酸素ガスは、T E O S 導入口 1 3 8 及び酸素・オゾン導入口 1 3 9 よりマニホールド 1 3 6 に導入され、マニホールド 1 3 6 内で混合されて、ガス拡散板 1 4 0 に当たり拡散し、シャワー電極 1 4 2 を通ってさらに均一に分散し、基板 1 4 7 の表面に吹き付けられる。基板 1 4 7 は、S i C セプタ 1 4 4 上に装着され、石英板 1 4 5 を通して加熱ランプ 1 4 6 から光加熱され、3 5 0 ° C 程度の温度に保持されている。シャワー電極 1 4 2 は、絶縁リング 1 4 1 によって他の部分と電氣的に絶縁されており、1 3 . 5 6 M H z 高周波電源 1 2 9 およびハイパスフィルター 1 3 0、4 5 0 k H z 高周波電源 1 3 3 およびローパスフィルター 1 3 4 で生成された 2 つの周波数の高周波電圧が、マッチングボックス 1 3 5 を介して印加されている。排気管 1 4 8 は真空ポンプ 1 4 9 に接続されており、反応室 1 4 3 の圧力は、数 T o r r に保持されている。

【 0 0 0 4 】通常、上記のような装置では、まず、T E O S ガスと酸素の混合ガスをシャワー電極 1 4 2 から基板 1 4 7 に吹き付け、圧力等の安定を確認した後、一定の高周波電圧をシャワー電極 1 4 2 に印加し、T E O S 及び酸素を分解させて基板 1 4 7 上に所望の膜を形成する。

【 0 0 0 5 】このような単純な方法では、形成された膜の下地段差に対する段差被覆性 (ステップカバレッジ) が極めて悪い (約 5 0 %) 事が判っており、プラズマ化学気相成長法と、オゾンと T E O S の熱化学気相成長法とを交互に行うことが試みられている。図 1 0 に、そのような方法を行う際に、シャワー電極 1 4 2 に印加される高周波電力と、プラズマ中の酸素イオン数と、原料ガス中のオゾン濃度の、成膜時間に対する変化を示している。プラズマ化学気相成長を行っており、高周波電力が

印加されている期間は、酸素イオン数が最大値を示すが、オゾン熱化学気相成長を行っており、高周波電力がゼロの期間は、酸素イオン数もゼロになっている。また、高周波電力をゼロにしてから、オゾンを流し始めるため、オゾン濃度が上昇するまでに一定時間が必要である。

【0006】上記のように、プラズマ化学気相成長法とオゾン熱化学気相成長法を交互に行った場合、膜がどのように形成されるかを、図11(a)～(d)に示す。下地基板上に形成されたアルミ配線153上に、まず(b)の様に、第1のプラズマCVD膜154が形成される。次に、(c)の様に、アルミ配線間の狭いスペースを埋め込むために、第1の熱CVD膜155が形成される。さらに、(d)の様に、第2のプラズマCVD膜156が形成される。このような工程が繰り返されて所望の膜厚まで膜形成が行われ、第11図(d)の様に、多層構造の膜が形成される。特に、このような方法では、オゾン熱CVD膜155がそのままの形で残っている事が重要である。

【0007】図12は、従来のプラズマ化学気相成長法とシリカ塗布法を用いた、多層配線用平坦化絶縁膜の形成方法を示している。まず、図(a)、(b)の様に、基板157上に形成されたアルミ配線158の上に、プラズマCVD膜159を、配線間スペースに鬆(ボイド)ができない程度の厚さだけ形成する。次に、図(c)の様にシリカ塗布液を塗布し、溶剤蒸発の為に100℃の熱処理、膜質改善の為に300℃前後の熱処理を行い、シリカ塗布膜(1回塗布)160を形成する。このままでは、平坦性が不十分なので、図(d)の様に、図(c)で行ったシリカ塗布及び熱処理の工程を、2回以上繰り返して、シリカ塗布膜(複数回塗布)161を形成する。さらに、通常の反応性イオンエッチング法(RIE)を用いてエッチバックする。この時、アルミ配線上のプラズマCVD酸化膜が露出すると、酸化膜から酸素原子が供給されるため、シリカ塗布膜のエッチングレートが大きくなり、図(e)の様に、エッチバック後のシリカ塗布膜162は、アルミ配線段差間のスペース部がへこんでしまう事が知られている。最後に、再度、プラズマCVD膜163を形成して層間膜が完成する。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】上述の従来のプラズマ化学気相成長法は、段差被覆性(ステップカバレッジ)が極めて悪く、サブミクロンのアルミ配線間スペースを埋設する事ができなかった。サブミクロンのアルミ配線間スペースを埋設する為には、図11のように、プラズマ化学気相成長法と、オゾンとTEOSの熱化学気相成長法とを交互に行ったり、図12の様に、シリカ塗布膜を多数回形成する必要がある。しかし、10 Torr程度の減圧下で形成されたオゾン-TEOS熱CVD膜や

シリカ塗布膜は、膜中に含まれる水分が多く、機械的強度、絶縁特性等に問題があり、特に、下層アルミ配線と上層アルミ配線を接続するスルーホール接続不良が生じるという欠点があった。また、図12のようなシリカ塗布膜をエッチバックする方法では、シリカ塗布膜を形成する工程や、エッチバックする工程が非常に複雑で、工程数の増加や、歩留まりの低下を招くという欠点もあった。

【0009】

10 【課題を解決するための手段】本発明のプラズマ化学気相成長法は、原料ガスの少なくとも一部分に有機シランと酸素或いはオゾン含有酸素を含み、基板表面へのプラズマ照射強度を周期的に変化させながら所望の膜を形成する。この際、プラズマ照射強度を変化させる手段として、プラズマの発生状態と非発生状態を繰り返して行ったり、基板表面へのプラズマの照射および非照射を繰り返したり、反応容器内の対向する電極に、2種以上の周波数の高周波電圧を印加し、その内の一部或いは全部の高周波電力を周期的に変化させる。

20 【0010】また、本発明のプラズマ化学気相成長装置は、有機シランを供給する機構と、酸素或いはオゾン含有酸素を供給する機構と、プラズマ発生強度を周期的に変化させる機構、或いは、1つの反応容器内に設けられたプラズマ強度の異なる複数のプラズマ照射機構と、この複数のプラズマ照射機構の間で基板を移動させる機構とを有している。さらに、本発明のプラズマ化学気相成長装置は、ウェハー表面に有機シランおよびオゾン含有酸素を供給する機構と、酸素プラズマイオン源と、プラズマ照射強度を周期的に変化させるための機械的或いは電磁的なシャッターとを有している。また、本発明のプラズマ化学気相成長装置は、反応容器内の対向する電極に、2種以上の周波数の高周波電圧を印加し、その内の一部或いは全部の高周波電力を周期的に変化させる機構を有している。

30 【0011】さらに、本発明の多層配線の製造方法は、有機シランと酸素を原料ガスとし、基板表面へのプラズマ照射強度を周期的に変化させる、本特許請求の範囲第1項および第2項記載の化学気相成長法により、金属配線上に絶縁膜を金属配線の高さ以上の膜厚だけ形成する工程と、レジスト膜、有機シリカ膜等の平坦化膜を形成する工程と、反応性イオンエッチング法によりエッチバックする工程を含んでいる。

【0012】

【発明の実施の形態】次に、本発明について、図面を参照して説明する。

40 【0013】図1は、本発明の実施例1を表すプラズマ化学気相成長装置の概略縦断面図である。図2は、第1図のプラズマ化学気相成長装置の動作を、印加高周波電力、酸素イオン数、オゾン濃度の時間変化について表したものである。図3は、本発明の原理の概略を表すモデ

ル図である。図4は、図2のような動作を行った際の、時間経過と膜の成長過程を表す縦断面図であり、図5は、図2のような動作を行った際、高周波オン時間(t_{on})の割合(デューティD)と膜成長速度、ステップカバレッジ、OH基の吸収係数の関係を示す。

【0014】図1のプラズマ化学気相成長装置において、シリコン原料となる珪酸エチル(以下TEOSと呼ぶ)ガスは、この図では表されていないTEOSタンクから供給される。液体状のTEOSを、マスフロー型の液体流量調節器3で流量調節し、蒸発器12で完全に気化させ、流量調節器4で流量調節されたヘリウムと混合されて生成される。オゾン含有酸素は、流量調節器2で流量調節された酸素を、無声放電型のオゾン発生器11に導入し、1~10%のオゾンを含有させて生成される。このようにして生成された、TEOSガス及びオゾン含有酸素ガスは、TEOS導入口14及びオゾン導入口13からマニホールド15に導入される。マニホールド内では、これらのガスは混合され、ガス拡散板17に当たる事によって、ほぼ均一に拡散する。さらに、シャワー電極19に当たると、さらに均一に分散し、基板28の表面に吹き付けられる。基板28は、SiCサセブタ21上に装着され、石英板22を通して加熱ランプ23から光加熱され、200~450℃程度の温度に保持されている。シャワー電極19は、絶縁リング18によって他の部分と電気的に絶縁されており、13.56MHz高周波電源39およびハイパスフィルター38、450kHz高周波電源36およびローパスフィルター35で生成された2つの周波数の高周波電圧が、マッチングボックス37を介して印加されている。排気管24は真空ポンプ26に接続されており、反応室20の圧力は、0.1~数Torrに保持されている。

【0015】本実施例では、シャワー電極19に接続されているマッチングボックス37の内部に、2つの周波数の高周波電圧を混合する混合器部と、インピーダンス整合を行うマッチング部と、ダミーロードと、半導体スイッチがあり、シャワー電極19に印加する高周波電圧をオン・オフ出来るようになっている。また、パルスジェネレータ40の発生するパルスに同期して、高周波電源35、36の出力を変化させ、シャワー電極19に印加される高周波電圧を変化させる事も可能である。これらの動作は、基板温度、反応室圧力等も含めて、プロセスコントローラ41で制御される。これらの制御信号やパルス等の伝達路は、図1中では破線で示されている。

【0016】ここで、シャワー電極19に印加する高周波電圧を、周期1秒でオン・オフした場合の本装置の動作を、図2乃至図5を用いて説明する。

【0017】図2最下段は、成膜時間と高周波電力の関係を示している。高周波電力がオンになっている時間 t_{on} の間、シャワー電極19と基板28或いはSiCサセ

ブタ21の間にプラズマが発生し、酸素或いはオゾンが分解し酸素イオンが発生する。図2中段は、その酸素イオン数の変化を表している。高周波電力を印加し始めてからプラズマ状態が安定するまでには、ある一定の時間が必要で、なで肩の波形になっている。オゾンは酸素より不安定であるため、高周波電圧の印加によるイオン化効率は高い。そのため、プラズマ中のオゾン分子数は、図2上段のように、高周波電力がオンの時、かなり低下する。

【0018】図3(a)、(b)は、それぞれ、高周波オンおよびオフの時の基板表面近傍の様子を表すモデル図である。高周波オンの時、図1のシャワー電極19と基板28の間にプラズマが発生する。プラズマ中では、酸素分子やTEOS分子は、電子45、酸素イオン47、TEOS解離分子46、酸素ラジカル55等に解離する。また、プラズマと基板の間には、シース電圧が発生し、酸素イオン47は、この電圧により加速され、ドリフトし、基板表面に衝突する。TEOS解離分子46も基板表面に向かって拡散し、形成膜表面で、熱分解或いは酸素イオン衝撃による分解によって膜形成前駆体50になる。さらに、形成膜表面で酸素ラジカル等と反応し、形成膜51が形成される。この際、形成膜51の表面には、非常に多くの酸素イオン衝撃があるため、膜形成前駆体50の寿命はかなり短く、形成膜表面での密度は低い。また、酸素イオン衝撃は、形成膜51を硬化させる作用があり、膜質が良好で、圧縮応力の膜の形成に役立っている。

【0019】さて、一旦高周波がオフになると(図3(b)参照)、電子および酸素イオン数は速やかに減少するが、TEOS解離分子46や酸素ラジカル55は、なおも残っている。これらは、形成膜51の表面に拡散して膜形成前駆体50となりやがて減少する。さらに、TEOS分子54とオゾン分子56も膜表面に向かって拡散し、反応してTEOS解離分子や膜形成前駆体となる。形成膜51の表面では、膜形成反応が熱化学反応のみであるため、形成膜表面に、膜形成前駆体が高密度で存在し、膜形成前駆体擬液体層59が形成される。この膜形成前駆体擬液体層59は、液体の性質を示すため、基板52に形成されている段差の側面低部の膜厚が厚くなり、段差側面の傾きを緩和する。

【0020】図4は、図2のように高周波電力を印加したときの時間経過と膜形成の様子をモデル的に示した縦断面図である。まず、図4(a)のように、時間 t_{on} (図2では0.5秒)の間、高周波がオンになり、約10nmの第1のプラズマCVD膜60が形成される。次に、図4(b)の様に、時間 t_{off} (0.5秒)の間に第1の熱CVD膜62が形成される。時間 t_{off} は0.5秒と非常に短く、第1の熱CVD膜62の膜厚は1nm程度である。そのため、次の t_{on} の初期に酸素イオン衝撃等で改質され、プラズマCVD膜と同等の膜質

になってしまう。よって、図 4 (c) のように、改質された第 1 の熱 CVD 膜 6 2 は、第 1 のプラズマ CVD 膜 6 0 と区別がつかなくなってしまう、第 1 のプラズマ CVD 膜 6 0 に取り込まれてしまう。熱 CVD 膜は、膜形成前駆体擬液体層の効果で、配線間の狭小なスペースや段差低部の角を埋め込み、形状をスムーズにする事が出来るので、続くプラズマ CVD 膜成長初期のプラズマ照射により、熱 CVD と同等の形状でプラズマ CVD と同等の膜質の第 2 プラズマ CVD 膜成長前の形成膜 6 4 を形成した事になる。第 2 プラズマ CVD 膜成長前の形成膜 6 4 により、段差低部は丸みを帯びた形状になっているため、この上に形成される第 2 のプラズマ CVD 膜 6 3 の形状も、図 4 (c) の様に、丸みを帯びる。第 2 プラズマ CVD 膜成長前の形成膜 6 4 と第 2 のプラズマ CVD 膜 6 3 の区別がつかないため、続く第 2 の熱 CVD 膜 6 5 の成長段階 (d) では、下層膜は第 2 プラズマ CVD 膜成長後の形成膜 6 6 になる。

【0021】以上のような段階を、多数回繰り返すことにより、図 4 (e) のように、アルミ配線 6 1 の間のスペース部に空隙 (ポイド) 無く、プラズマ CVD 膜とほぼ同等の、良好な膜質の形成膜を埋め込む事が出来る。

【0022】図 5 は、図 2 中の t_{pr} と t_{prf} から計算されるデューティー比 D ($D = t_{\text{pr}} / (t_{\text{pr}} + t_{\text{prf}}) \times 100 (\%)$) の値と、成長速度、ステップカバレッジ、膜中 OH 基の吸収係数との関係を示している。図 5 最下段から、成長速度は D が大きいほど増加する事が判り、中段から、ステップカバレッジは、 D が 50 % を越えると悪化し始める事が判り、上段から、OH 基は、 D が 40 % を越えれば十分小さくなる事が判る。図 4 から、ステップカバレッジと膜中水分量 (膜中 OH 基吸収係数) は相反する傾向にあるが、デューティー比 D の値を適当な範囲 (本実施例の場合は 40 から 60 パーセント) に設定することにより両者とも損なわないようにする事が出来る事が判る。

【0023】尚、本実施例では、有機シランガスとして、珪酸エチル ($\text{TEOS} : \text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$) を用いたが、テトラメチルシラン ($\text{TMS} : \text{Si}(\text{CH}_3)_4$)、テトラメチルシクロテトラシロキサン (TMCTS)、オクタメチルシクロテトラシロキサン (OMCTS)、ヘキサメチルジシラザン (HMDS)、トリエトキシシラン ($\text{SiH}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$)、トリジメチルアミノシラン ($\text{SiH}(\text{N}(\text{CH}_3)_2)_3$) 等のシリコン含有化合物を用いても同様の結果が得られる。また、反応ガス中にオゾンが存在しなくても、酸素ラジカルや TEOS 解離分子の寿命はかなり長いので、デューティー比の値を適当に選べば、同様の結果が得られる。さらに、反応ガス中に、シラン等のシリコン無機化合物やアンモニア等窒素化合物や、リン、ホウ素、砒素、アンチモン等の水素化合物や有機化合物を混入させた場合にも同様の結果が得られる。

【0024】さらにまた、本実施例では、シャワー電極 19 に印加する高周波電力のみを変化させたが、パルスジェネレータ 40 の生成するパルスに同期して、高周波電力、反応室圧力、基板温度、ガス流量等を変化させると、より良好な段差被覆性が得られる。

【0025】図 6 は、本発明の実施例 2 のプラズマ化学気相成長装置の反応室を示し、(a) はその平面図であり、(b) は、(a) の二点鎖線 AA' での縦断面図である。尚、(a) は、(b) の一点鎖線 BB' での平面図を表している。反応室 7 2 は、6 つの扇型の領域に分けられ、時計の 3 時の方向の扇型が熱 CVD 領域 7 0 になっており、時計回りに、プラズマ CVD 領域、熱 CVD 領域、プラズマ CVD 領域 166 と交互に配置されている。基板 69 は、回転軸 79 を軸として回転するサセプター 71 の上に装着され、熱 CVD 領域と、プラズマ CVD 領域を交互に通過するようになっている。

【0026】熱 CVD 領域 7 0 には、 TEOS 導入口 73 とオゾン導入口 75 から、 TEOS ガス及びオゾン含有酸素が導入され、ガス分散板 83 とシャワーインジェクター 81 で均一に分散された後、基板 69 の表面へ供給される。基板 69 はサセプター 71 の裏側に設置されたヒーター 80 によって約 350℃ に加熱されているため、基板上でオゾンと TEOS による熱 CVD 膜が成長する。

【0027】プラズマ CVD 領域 166 には、 TEOS 導入口 73 と酸素導入口 74 から TEOS ガス及び酸素ガスが導入され、ガス分散板 83' とシャワー電極 78 で均一に分散され、基板 69' の表面に供給される。シャワー電極 78 は、絶縁リング 82 及び絶縁体 76 によって、反応室の他の部分から電気的に絶縁されており、RF 導入端子 77 から 13.56 MHz 或いは 450 kHz の高周波電圧が印加される。これらの高周波電圧の印加によって、シャワー電極 78 と基板 69' 或いは、サセプター 71 の間にプラズマが励起され、プラズマ CVD 膜が形成される。

【0028】前述したように、基板 69 は、回転するサセプター 71 とともに、プラズマ CVD 領域と熱 CVD 領域を交互に通過するため、プラズマ CVD 膜と熱 CVD 膜が交互に形成される。この際、サセプター 71 の回転速度を毎分 10 回転程度にすると、熱 CVD 領域 70 で形成される熱 CVD 膜の膜厚は約 2 nm 程度となり、隣合うプラズマ CVD 領域の成膜初期でプラズマ照射され、膜質はプラズマ CVD 膜と同様になる。このようにして、図 4 で述べたのと同様に、膜質はプラズマ CVD 膜と同様で、ステップカバレッジ及び段差埋め込み性に優れた CVD 膜が形成される。

【0029】尚、本実施例では、反応室を 6 つの領域に分割したが、これは 2 つ以上であれば幾つでも構わない。また、成膜領域の種類を熱 CVD 領域とプラズマ CVD 領域の 2 種類にしたが、プラズマ CVD 領域を印加

する高周波の周波数や印加電力によって2種以上設けても良い。

【0030】さらに、本実施例では、サセプター71を平面のターンテーブル状にし、上方に、シャワーインジェクターやシャワー電極を設けたが、サセプターを円筒或いは多角柱状にし、その外側面に基板を装着し、基板と対向してシャワー電極等を設けても同様の結果が得られる。

【0031】また、本実施例では、有機シランガスとして、珪酸エチル (TEOS: Si (OC₂H₅))、を用いたが、テトラメチルシラン (TMS: Si (CH₃))、テトラメチルシクロテトラシロキサン (TMCTS)、オクタメチルシクロテトラシロキサン (OMCTS)、ヘキサメチルジシラザン (HMDS)、トリエトキシシラン (SiH (OC₂H₅))、トリジメチルアミノシラン (SiH (N (CH₃))) 等のシリコン含有化合物を用いても同様の結果が得られる。また、反応ガス中にオゾンが存在しなくても、酸素ラジカルやTEOS解離分子の寿命はかなり長いので、ディーディー比の値を適当に選べば、同様の結果が得られる。さらに、反応ガス中に、シラン等のシリコン無機化合物やアンモニア等窒素化合物や、リン、ホウ素、砒素、アンチモン等の水素化合物や有機化合物を混入させた場合にも同様の結果が得られる。

【0032】図7に、本発明の実施例3のプラズマ化学気相成長装置の概略を示す。イオン源空洞93には、流量調節器103で流量調節された酸素ガスO₂と、流量調節器87で流量調節されたアルゴンガスArが供給され、圧力は、p=1mTorrに保たれている。また、マイクロ波電源84から、導波管85及び透過窓86を経由して、周波数2.45GHzのマイクロ波が供給されている。さらに、主電磁石コイル94の作る875ガウスの磁場によって、イオン源空洞93内では電子サイクロトロン共鳴(ECR)が起こっており、イオン化率の高い酸素プラズマが発生する。酸素イオンは主電磁石コイル94の発散磁界及び補助コイル96によって反応室95へ引き出され、基板106へ照射される。

【0033】シリコン原料となるTEOSガスは、80℃に保たれた恒温容器112内に保温されたTEOS111から蒸発したTEOSガスを、流量調節器113で流量調節してTEOS導入口107から反応室へ導入される。また、流量調節器101で流量調節された酸素ガスが、オゾン発生器98を通過してオゾン含有酸素になり、オゾン導入口97から供給される。基板106は、サセプター109上に装着され、ヒーター110によって300℃に加熱されている。また、反応室の圧力は、流量調節器88によって流量調節され、Ar導入口108から供給される希釈用アルゴンガスと真空ポンプ105によって、約1mTorrに保たれている。

【0034】本実施例のプラズマCVD装置では、ま

ず、イオン源空洞93内に酸素プラズマを発生させる。補助コイル96、96'に流す電流は、イオン源から基板に向かう磁場を発生させる向きで小さな値にしておき、酸素プラズマの照射が均一になる程度にしておく。また、反射磁石コイル102、102'に流す電流も、イオン源から基板に向かう磁場を発生させる向きで小さな値にしておく。この状態で、基板106表面に酸素イオンを照射させ、TEOSガスを供給すると、ECRプラズマ気相成長が起こり、膜質の良いプラズマCVD膜が形成される。次に、補助コイル96、96'に流す電流の値を強くして、イオン源空洞出口付近にミラー型磁場が形成されるようにし、主電磁石コイル94、94'の発散磁界によってプラズマから流れ出す電子及びイオンが跳ね返るようにする。すると、基板106上には、TEOSガスとイオン源から拡散してくる酸素ラジカル、酸素分子等の中性粒子のみが供給され、熱CVD的な反応のみが起こり、ステップカバレッジの良い成膜が行われる。そこで、補助コイル96、96'に流す電流を、1秒から10秒程度の周期で変化させると、基板106に照射される酸素イオン数が周期的に変化し、プラズマCVD膜と熱CVD膜が交互に形成され、さらに、熱CVD膜のプラズマCVD膜への改質も行われて、図4と同様に、ステップカバレッジ及び段差埋め込み性に優れたプラズマCVDが形成される。特に本実施例では、反応室圧力を1mTorr程度にしているので、アスペクト比の大きな溝の埋め込みも可能になる。

【0035】尚、基板106に照射される酸素イオンを変化させる手段として、上記の例では補助コイル94によって形成されるミラー型磁場を用いたが、反射磁石102、102'によって形成されるカスプ型磁場や、サセプター109に正の電圧を印加して形成される反跳電場を用いても良い。また、図7には示されていないが、機械的なシャッターを用いても同様の結果が得られる。但し、機械的シャッター等を用いて、酸素ラジカルの拡散を妨げるような構造にした場合には、オゾン発生器98を動作させて基板近傍にオゾンを供給し、熱化学気相成長を促進し、熱CVD膜の成長を促進するようにした方がよいのは言うまでもない。

【0036】また、上記実施例では、イオン源として電子サイクロトロン共鳴型(ECR)イオン源を用いたが、酸素イオンの強度を変化させる事が出来れば、その形式によらず同様の結果が得られる。

【0037】また、本実施例では、有機シランガスとして、珪酸エチル (TEOS: Si (OC₂H₅))、を用いたが、テトラメチルシラン (TMS: Si (CH₃))、テトラメチルシクロテトラシロキサン (TMCTS)、オクタメチルシクロテトラシロキサン (OMCTS)、ヘキサメチルジシラザン (HMDS)、トリエトキシシラン (SiH (OC₂H₅))、トリジメチルアミノシラン (SiH (N (CH₃))) 等

のシリコン含有化合物を用いても同様の結果が得られる。さらに、反応ガス中に、シラン等のシリコン無機化合物やアンモニア等窒素化合物や、リン、ホウ素、砒素、アンチモン等の水素化合物や有機化合物を混入させた場合にも同様の結果が得られる。

【0038】図8は、本発明の実施例4にもとづき、アルミ多層配線の層間絶縁膜平坦化法を表す縦断面図である。

【0039】本実施例では、まず、半導体素子等を形成した基板115上にアルミ配線114を形成する(図8(a))。次に、本発明の実施例1のプラズマ化学気相成長装置を用いて、図中(b)、(c)のように、本発明のCVD膜116をアルミ配線の膜厚より厚く形成する。レジスト117を塗布しハードベークする。レジスト117と本発明のCVD膜116のエッチングレートが等しくなるように調整した反応性イオンエッチング法を用いて、エッチバックを行い、CVD膜の表面が平坦になるようにする。すると、平坦化された層間膜118が出来上がる。

【0040】尚、本実施例では、平坦化のためにレジストを用いたが、ポリスチレンや有機SOG等を用いても同等の結果が得られる。また、平坦化法として、研磨法を用いれば、基板全面に渡って良好な平坦性が得られる。

【0041】図13は、図1の実施例1のプラズマ化学気相成長装置を使用した、実施例5の動作の方法を示している。図13では、13.56MHz高周波電力、450kHz高周波電力、イオン電流密度、平均イオンエネルギーについて表している。但し、いずれの値も、それぞれの値の最大値で規格化してある。

【0042】本実施例の動作の方法では、図13の下から1段目及び2段目の様に、図1の13.56MHzと450kHzの2つの周波数の高周波電源39、36に、パルスジェネレータ40からパルスを送り、2つ周波数の高周波の最大出力が逆位相になるようにして、シャワー電極19に電圧を印加している。すると、図13下から3段目および4段目の様に、イオン電流密度の変化は小さいが、平均イオンエネルギーは、450kHz高周波電力が最大の時に最大値を取り、13.56MHz高周波電力が最大の時に最小となるように出来る。これは、印加する高周波の周波数が高いと、プラズマと基板の間に生ずる電圧(シース電圧)が減少する事による。このように、イオン電流密度を変えないで、イオンエネルギーのみを変化させた場合、イオン衝撃の強度は周期的に変化し、膜質の劣化が無く、段差被覆性および溝埋め込み性が改善される点では、実施例1と同様であるが、さらに、図13最上段の様に、膜成長速度の変化が10%程度に小さくできるという利点がある。

【0043】尚、本実施例では、図1の装置を用いたが、本特許の他の実施例で示した、図6、図7の装置を

用いても同様の結果を得る事が出来る。

【0044】尚、本実施例では、有機シランガスとして、珪酸エチル(TEOS:Si(OC₂H₅))を用いたが、テトラメチルシラン(TMS:Si(C₂H₅))、テトラメチルシクロテトラシロキサン(TMCTS)、オクタメチルシクロテトラシロキサン(OMCTS)、ヘキサメチルジシラザン(HMDS)、トリエトキシシラン(SiH(OC₂H₅))、トリジメチルアミノシラン(SiH(N(CH₃)))等のシリコン含有化合物を用いても同様の結果が得られる。また、反応ガス中にオゾンが存在しなくても、酸素ラジカルやTEOS解離分子の寿命はかなり長いので、デューティー比の値を適当に選べば、同様の結果が得られる。さらに、反応ガス中に、シラン等のシリコン無機化合物やアンモニア等窒素化合物や、リン、ホウ素、砒素、アンチモン等の水素化合物や有機化合物を混入させた場合にも同様の結果が得られる。

【0045】さらにまた、本実施例では、シャワー電極19に印加する高周波電力のみを変化させたが、パルスジェネレータ40の生成するパルスに同期して、高周波電力、反応室圧力、基板温度、ガス流量等を変化させると、より良好な段差被覆性が得られる。

【0046】

【発明の効果】以上説明したように本発明のプラズマ化学気相成長法は、基板表面へのプラズマ照射強度を周期的に変化させながら、優れたステップカバレッジを持つオゾンとTEOSの熱CVD膜の形成と、その熱CVD膜のプラズマCVD膜と同等な膜質への改質、および、プラズマTEOS・CVD膜の形成を繰り返して行うため、微細でアスペクト比の大きい溝を埋め込む事が可能なほど優秀なステップカバレッジを有し、膜中水分量や膜中ストレスが小さく、良好な膜質を有するプラズマCVD膜の形成が可能になる効果がある。

【0047】また、本発明のプラズマ化学気相成長装置は、有機シランを供給する機構と、酸素或いはオゾン含有酸素を供給する機構と、プラズマ発生強度を周期的に変化させる機構、或いは、1つの反応容器内に設けられたプラズマ強度の異なる複数のプラズマ照射機構と、この複数のプラズマ照射機構の間で基板を移動させる機構、或いは、プラズマ照射強度を周期的に変化させるための機械的或いは電磁的なシャッターとを有しているため、本発明のプラズマ化学気相成長法を効果的に実現できる。

【0048】また、本発明の多層配線の製造方法は、有機シランと酸素を原料ガスとし、基板表面へのプラズマ照射強度を周期的に変化させる、本特許記載の化学気相成長法を用い、金属配線間に髻(ボイド)の発生の無い絶縁膜を、金属配線の高さ以上の膜厚だけ形成する工程を含むため、シリカ塗布膜を用いる従来の多層配線の製造方法に比べ、層間膜中の水分量が大幅に減少し、耐ク

ラック性の向上、ストレスマイグレーションの低減、スルーホール導通特性の向上等が図られる。また、本発明の多層配線の製造方法の工程数は、従来の方法に比べて著しく減少しているため、歩留まりが向上し、コストが低減されるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施例 1 を表すプラズマ化学気相成長装置の概略縦断面図である。

【図 2】図 1 のプラズマ化学気相成長装置の動作を、印加高周波電力、酸素イオン数、オゾン濃度の時間変化について表したものである。

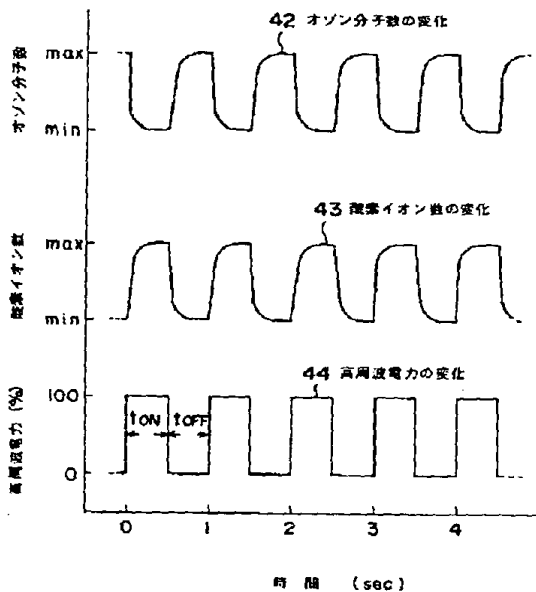
【図 3】本発明の原理の概略を表すモデル図である。

【図 4】図 2 のような動作を行った際の、時間経過と膜の成長過程を表す縦断面図である。

【図 5】図 2 のような動作を行った際の、高周波オン時間 (t_{on}) の割合 (デューティ D) と膜成長速度、ステップカバレッジ、OH 基の吸収係数の関係図である。

【図 6】本発明の実施例 2 のプラズマ化学気相成長装置の反応室を示し、(a) は概略平面図であり、(b) は、(a) の二点鎖線 AA' での縦断面図 (なお、(a) は、(b) の一点鎖線 BB' での平面図) であ

【図 2】



る。

【図 7】本発明の実施例 3 のプラズマ化学気相成長装置の概略を表す縦断面図である。

【図 8】本発明の実施例 4 のアルミ多層配線の層間絶縁膜平坦化法を表す縦断面図である。

【図 9】従来のプラズマ化学気相成長装置の概略図である。

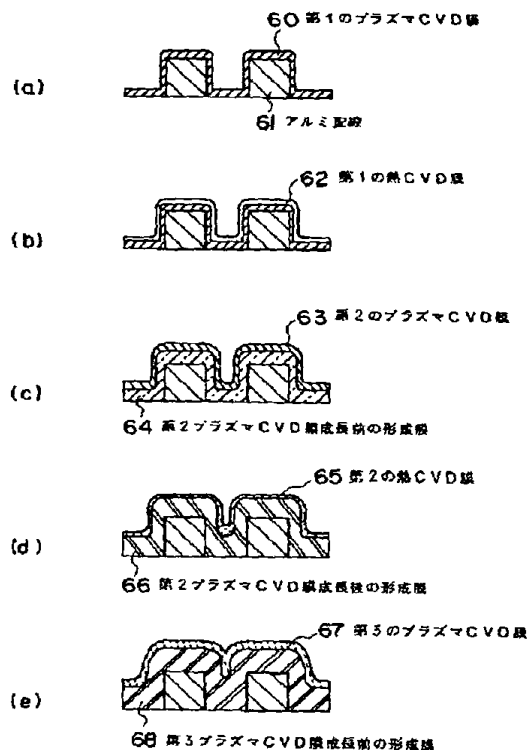
【図 10】プラズマ化学気相成長法と、オゾンと TEOS の熱化学気相成長法とを交互に使用する従来の方法における、シャワー電極に印加される高周波電力と、プラズマ中の酸素イオン数と、原料ガス中のオゾン濃度の、成膜時間に対する変化図である。

【図 11】プラズマ化学気相成長法とオゾン熱化学気相成長法を交互に行った場合の膜成長を表す縦断面図である。

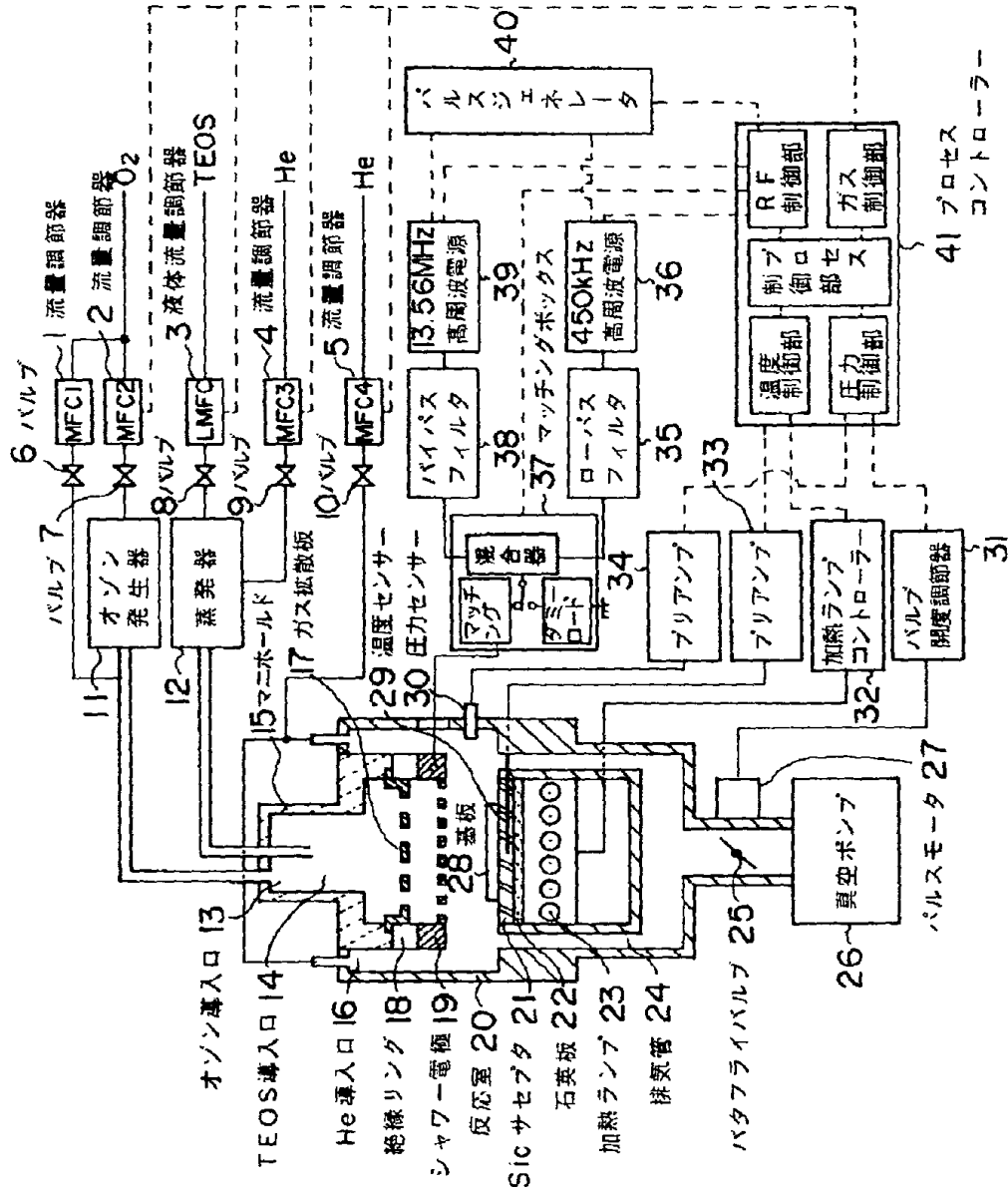
【図 12】プラズマ化学気相成長法とシリカ塗布法を用いた、従来の多層配線用平坦化絶縁膜の形成方法を示す縦断面図である。

【図 13】図 1 の実施例 1 のプラズマ化学気相成長装置を使用した、実施例 5 の動作の方法を示す、高周波電力等の時間変化図である。

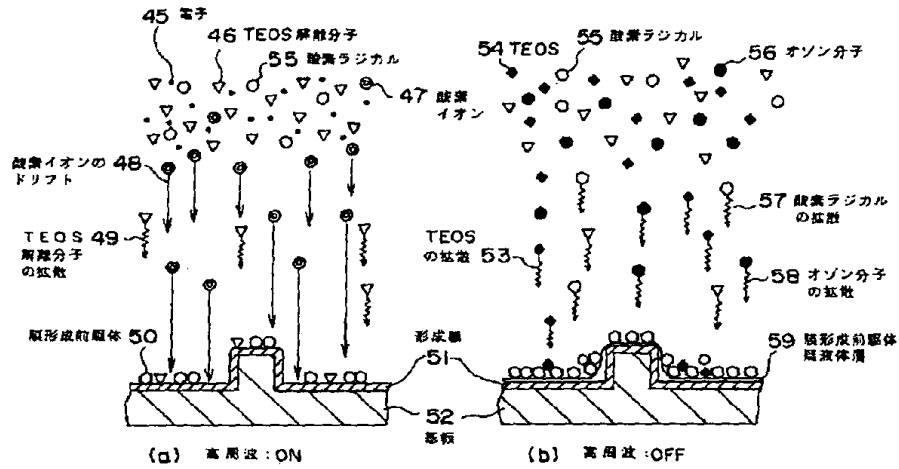
【図 4】



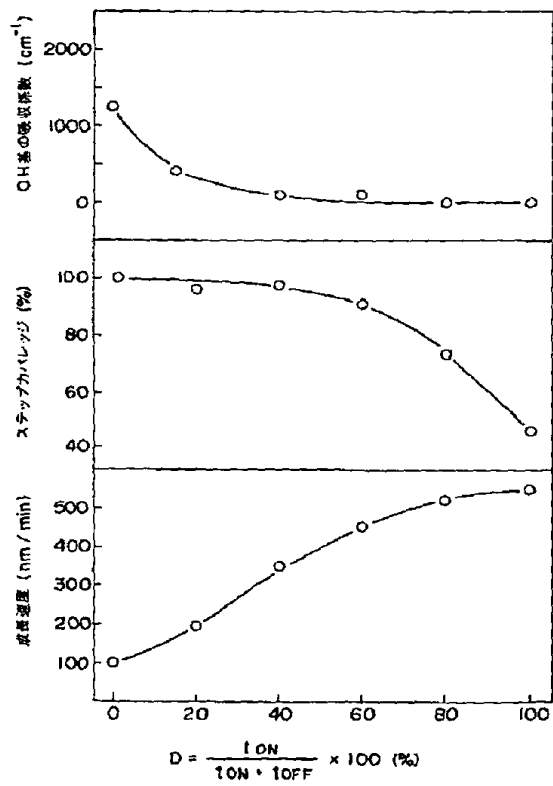
〔 図 1 〕



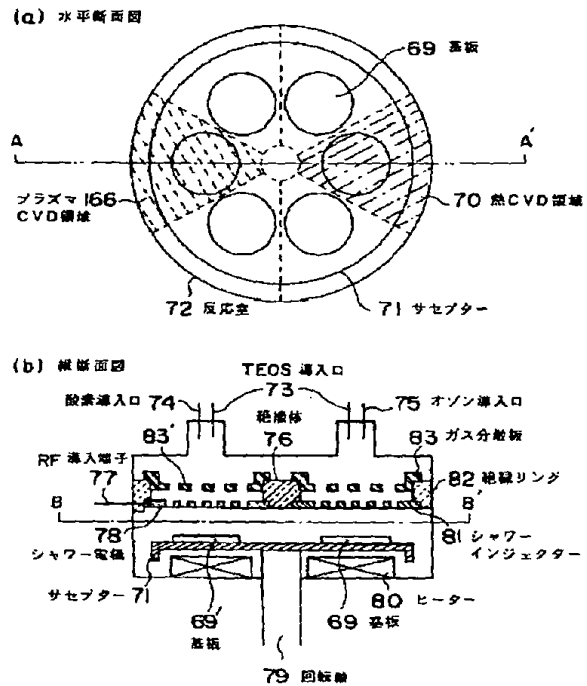
【図 3】



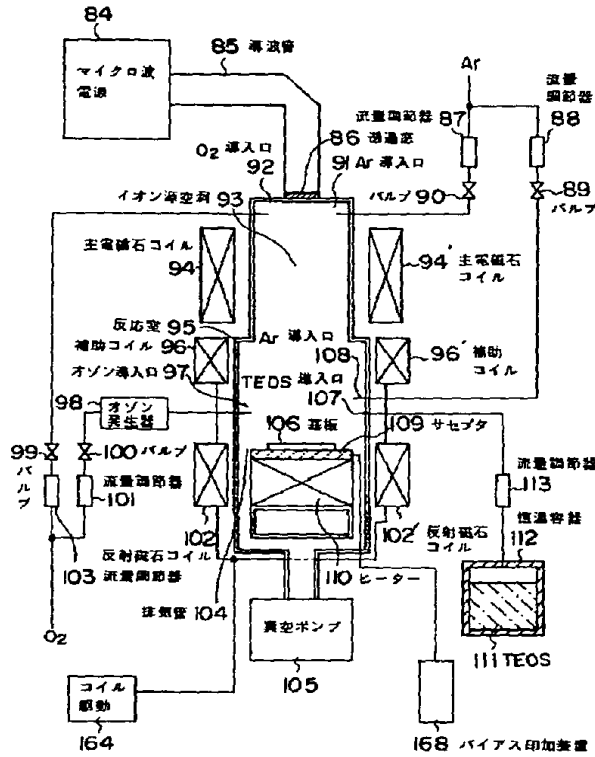
【図 5】



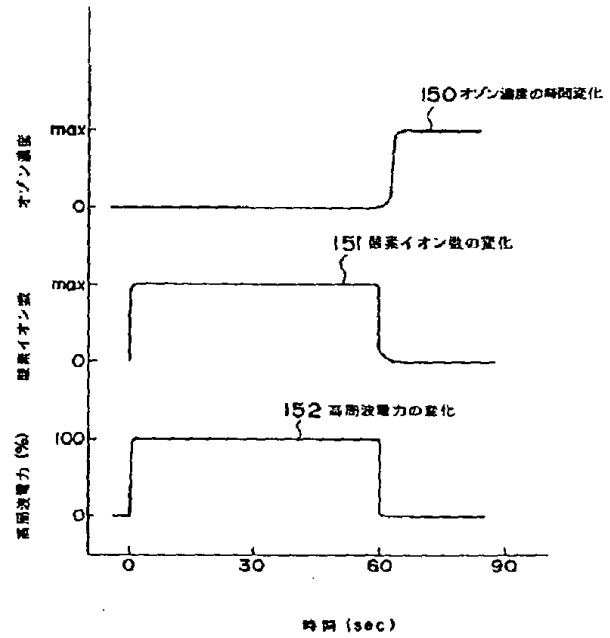
【図 6】



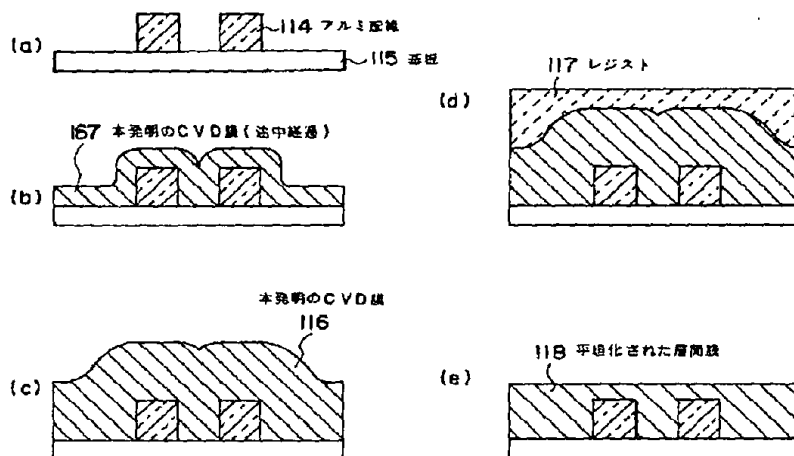
【図 7】



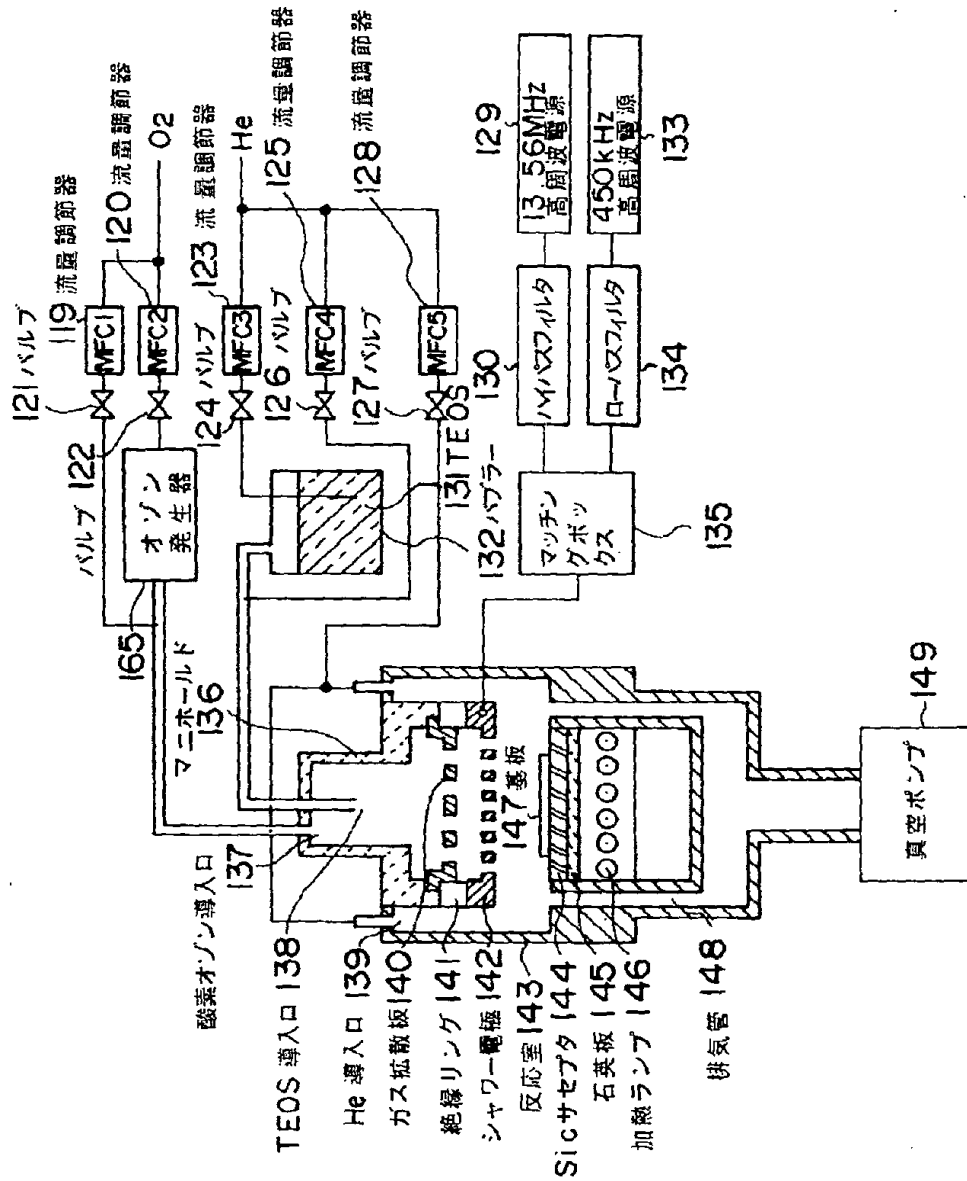
【図 10】



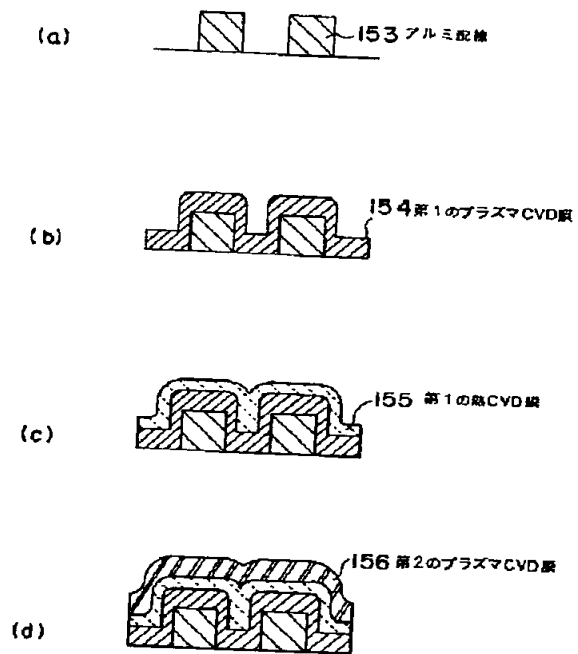
【図 8】



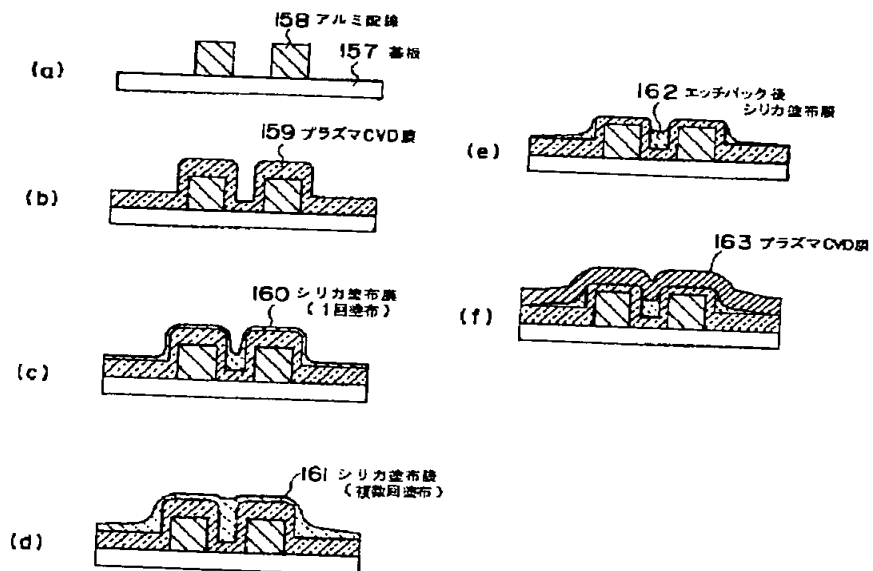
【図 9】



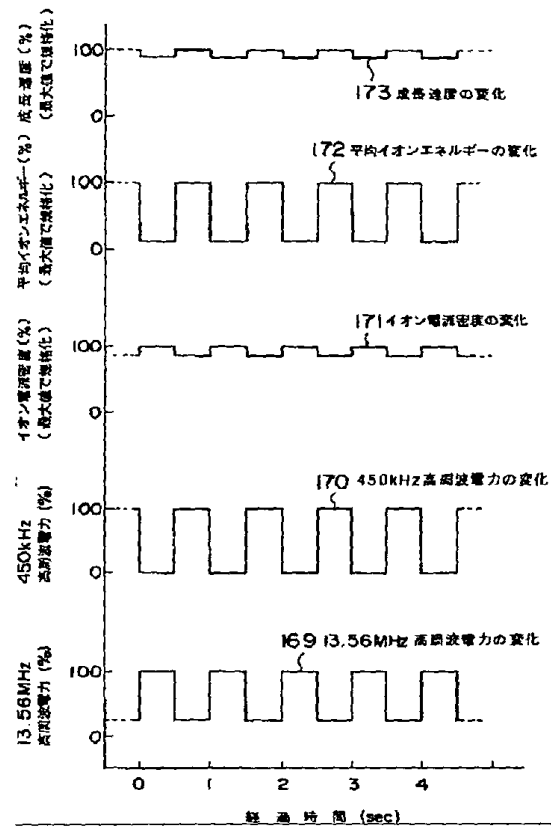
【図 1 1】



【図 1 2】



【図 1 3】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁶

21/768

H05H 1/46

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

C 9216-2G

H01L 21/88

21/90

K

P